

С.Г.ПОКЛОНОВ, канд.техн.наук; **В.Г.ЖЕКУЛ**, канд.техн.наук;
Э.И.ТАФТАЙ; **И.С.ШВЕЦ**, канд.физ.-мат.наук; Институт импульсных
процессов и технологий НАНУ, Николаев

КАЧЕСТВЕННАЯ МОДЕЛЬ ПОВЕДЕНИЯ КОЛЛЕКТИВА ГЛОБУЛ ВОДЫ В НЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЯХ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

У статті наведені результати експериментальних досліджень поведінки колективу водних глобул у нафтових емульсіях при впливі електричних полів, запропонована якісна модель зміни питомої електропровідності емульсії впродовж часу.

In article the results of experimental researches of behaviors of collective water drops in petroleum emulsions at influence an electrical field are given, the qualitative model of change specific conduction of emulsions in time is offered.

Введение. Воздействие электрических полей на водомасленные эмульсии (ВМЭ) и водонефтяные эмульсии (ВНЭ) для целей обезвоживания и очистки с содержанием водной и твердой фазы в эмульсиях не более 2 % широко используется в промышленности [1,2,3]. При превышении указанных значений загрязнений технологическое оборудование теряет производительность и возникают аварийные режимы его работы [4,5].

Однако существует широкий класс эмульсий, так называемые «ловущие нефти», содержащий от 10 до 80 % воды и от 2 до 6 % механических примесей, это высокообводненные, высокоустойчивые и засоленные эмульсии, возникающие в процессе нефтедобычи и подготовки товарной нефти.

Очевидно, что разработка подходов к проблеме воздействия электрических полей на высокообводненные и высокоустойчивые нефтяные эмульсии с целью уменьшения потерь нефти представляет интерес, тем более что количество ВНЭ, попадающих в отходы и загрязняющих окружающую среду, может составлять до 1,6 % от добываемого количества нефти [5].

Целью работы явилось более детальное изучение элементарных процессов в межэлектродном промежутке, заполненном водонефтяной эмульсией, поскольку багаж представлений о них, изложенных в литературе, недостаточно для выработки рабочей гипотезы о поведении коллектива глобул (капель) воды в высокообводненных и засоленных ВНЭ при воздействии постоянного, переменного и импульсного полей.

Методика эксперимента. Особенность первого этапа исследований состояла в визуальном наблюдении за поведением отдельных глобул воды, а

также коллектива глобул при приложении постоянного, переменного и импульсного полей различного типа и напряженности. Для этого была взята кювета из стекла размерами 70×50×100 мм, в которой вертикально помещались плоские электроды. Электрическая схема позволяла подавать на исследуемый промежуток постоянное, переменное и импульсное напряжение величин от 2 до 4,5 кВ. Реализация импульсного режима производилась посредством механического ключа с регулировкой времени воздействия от 20 мс до десятков секунд. Фоторегистрация процессов производилась с помощью WEB-камеры «Genius».

Учитывая сложности проведения исследований, связанных с непрозрачностью водонефтяных эмульсий, в качестве дисперсной среды использовалось чистое прозрачное трансформаторное масло марки Т – 1500, ГОСТ 982–80 ($\gamma_m = 0,895 \text{ кг/м}^3$; $\rho_m = 10^{11} \text{ Ом м}$), а в качестве дисперсной фазы – смесь этилового спирта с дистиллятом. Для лучшей визуализации смесь подкрашивалась чернилами, а плотность смеси подбиралась близкой к плотности трансформаторного масла, чтобы капли «зависали» в масле.

На втором этапе воздействию различных электрических полей подвергались натуральные высокоустойчивые и высокообводненные ВНЭ.

Основная часть: 1. Постоянное электрическое поле. В первых наблюдениях исследовано поведение небольшого количества глобул воды в масле. В кювете было реализовано однородное постоянное электрическое поле напряженностью $E_0 = 8,3 \cdot 10^4 \text{ В/м}$. На рис. 1 представлены наиболее информативные кадры из фотосъемки процесса с указанием текущего времени процесса.

Как следует из рис. 1, и в соответствии с литературными данными [6], глобула воды, помещенная в масло под влиянием поверхностного натяжения приобретает почти сферическую форму, при малых размерах достаточно близкую к форме шара. Такая форма обуславливается капиллярным давлением изгиба, возникающим под воздействием сил поверхностного натяжения и направленным от периферийного слоя капельки вовнутрь ее. Это давление определяется формулой [7]:

$$p_\sigma = 2\sigma/a, \quad (1)$$

где p_σ – капиллярное давление изгиба, Па;

σ – поверхностное натяжение на границе раздела фаз, Н/м;

a – радиус капельки, м.

После приложения к межэлектродному промежутку постоянного электрического поля сферическая глобула воды поляризуется и вытягивается в эллипсоид вращения [7,8], внутри которого также возникает электрическое поле [9]. Поляризация глобулы имеет следующий механизм. Молекулы воды, представляя собой жесткие диполи со значительно смещенными центрами тяжести положительных и отрицательных зарядов, обладают большой

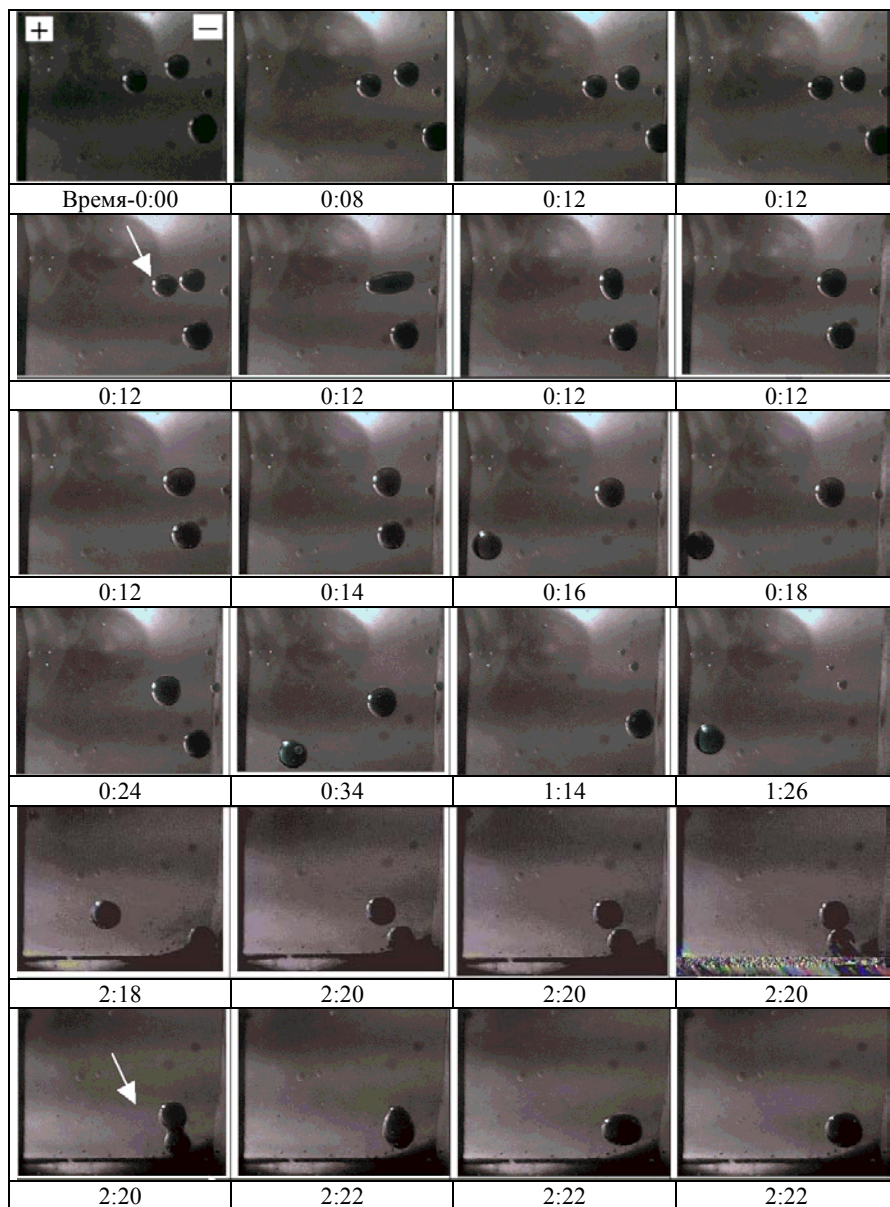


Рисунок 1 – Поведение капель в постоянном однородном электрическом поле $E_0 = 8,3 \cdot 10^4$ В/м. (Длительность экспозиции кадра $\sim 0,03$ с, стрелками указаны места слияния капель)

полярностью. Под влиянием внешнего поля молекулы воды стремятся повернуться таким образом, чтобы векторы их дипольных моментов совпали по направлению с силовыми линиями поля.

Эта ориентация тем более полная, чем сильнее электрическое поле, и чем слабее тепловое движение молекул. Внутри объема глобулы вода остается электронейтральной благодаря взаимной компенсации различных по знаку зарядов соседних диполей. Однако, на противоположных участках поверхности глобулы, из-за существенной малости дипольного момента молекул масла по сравнению с дипольным моментом молекул воды, возникает скопление избыточных зарядов – отрицательных на входе силовых линий внешнего поля, положительных – на выходе. Время установления поляризационных эффектов в глобулах воды составляет порядка 10^{-10} с. Таким образом, глобулу воды в целом можно рассматривать как большой упругий диполь, момент которого увеличивается с повышением напряженности электрического поля. При этом силы поля, действующие на противоположные заряды диполя, равны по величине и направлены в противоположные стороны. Они стремятся увеличить расстояние между разноименными поляризационными зарядами, приводя этим самым к вытягиванию глобулы вдоль силовых линий поля. В итоге совместного воздействия сил поверхностного натяжения и сил поля глобула и приобретает форму вытянутого эллипсоида вращения, большая полуось которого расположена вдоль линий поля. Чем выше напряженность электрического поля, тем более вытянутой становится глобула, а при достаточно высокой напряженности поля силы, вытягивающие глобулу, становятся настолько большими, что в состоянии разорвать ее, преодолев силы поверхностного натяжения.

Как следует из рис. 1 напряженность поля в опыте недостаточна для видимого изменения формы глобул, однако поляризация их происходит и это приводит к тому, что глобулы, находящиеся вблизи друг от друга, притягиваются и сливаются.

Сила, с которой взаимодействуют две поляризованные глобулы одинакового размера определяется соотношением [10]

$$F = k \frac{D^6 E_0^2}{l^4}, \quad (2)$$

где k – коэффициент пропорциональности, B^2 ;

D – диаметр капель, м;

E_0 – напряженность внешнего электрического поля, В/м;

l – расстояние между центрами капель, м.

Из выражения (2) следует, что при расстоянии между глобулами значительно превышающем их размеры, сила взаимодействия глобул уменьшается до нуля. Однако, если расстояние между каплями гораздо меньше их радиуса, сила притяжения резко возрастает.

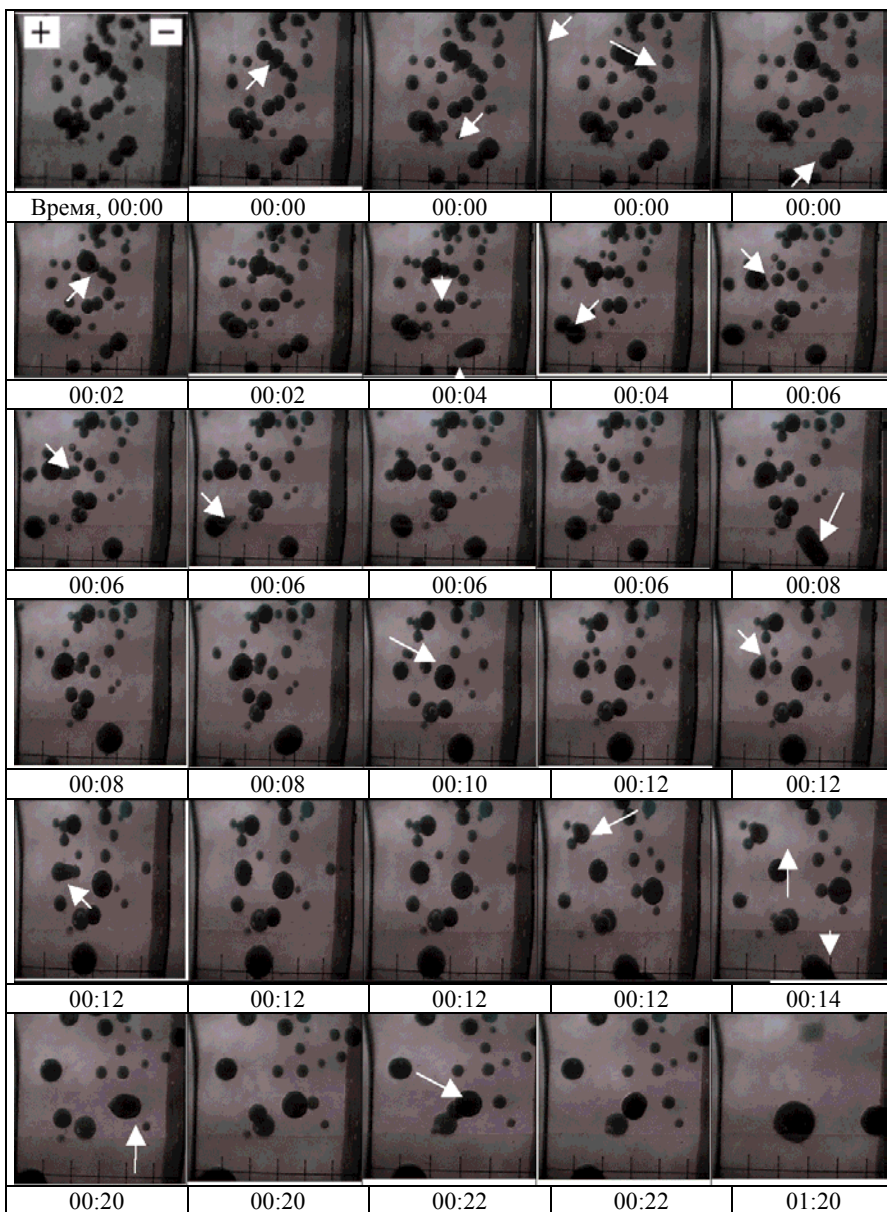


Рисунок 2 – Поведение капель в постоянном однородном электрическом поле $E_0=8,3 \cdot 10^4$ В/м. (Длительность экспозиции кадра $\sim 0,03$ с, стрелками указаны места слияния капель, цена деления шкалы внизу кадра – 5 мм)

Повышение концентрации глобул в единице объема (рис. 2) приводит к естественному их сближению и, в результате, к многочисленным слияниям.

В этом процессе имеет значение увеличение напряженности электрического поля самой глобулы, поскольку при значительном сближении глобул, на величину их поляризации оказывает влияние не только внешнее поле, но и поле смежной глобулы. В результате этого происходит взаимное усиление напряженностей поля на поверхности между ними. При сравнительно большом удалении одной глобулы от другой, когда расстояние между центрами превышает их диаметры в три раза и больше, взаимным дипольным влиянием можно пренебречь. При расстоянии между глобулами, превосходящим диаметр только на 10 %, напряженность поля на смежных частях их поверхностей возрастает почти на порядок, то есть дипольное поле становится гораздо больше внешнего поля. Роль внешнего поля в этом случае состоит в «первичной» поляризации капелек. Еще большее возрастание напряженности поля происходит при дальнейшем уменьшении расстояния между глобулами. Так, при расстоянии между центрами, превышающем их диаметр на 2,5 %, то есть при расстоянии между ближайшими точками поверхностей глобул, равным всего 5 % радиуса, и напряженности внешнего электрического поля от $2 \cdot 10^5$ до $3 \cdot 10^5$ В/м, напряженность поля вблизи смежных поверхностей глобул составляет от $8 \cdot 10^6$ до $12 \cdot 10^6$ В/м. Под воздействием таких напряженностей поля тонкий слой, разграничивающий две смежные глобулы, разрушается, и они мгновенно сливаются [11]. Характерной особенностью этих опытов является наличие перемещения глобул в однородном поле. Есть все основания утверждать, что первоначально глобулы не несут на себе избыточного заряда, поскольку длительное время от начала приложения поля к межэлектродному промежутку глобулы остаются неподвижными.

Это утверждение основано на том факте, что электрическое поле взаимодействует только с заряженными частицами, вызывая их перемещение вдоль силовых линий. Лишь спустя некоторое время глобулы начинают движение, в нашем случае, преимущественно к положительному (высоковольтному) электроду, причем процесс этот носит все ускоряющийся характер. Этот факт может свидетельствовать только о том, что глобулы постепенно накапливают на себе избыточный заряд. Относительно механизмов появления избыточного заряда на глобулах воды в литературных источниках обсуждается, пожалуй, единственный – оседание ионов, присутствующих в нефтепродуктах. Так, в число неуглеводородных компонентов трансформаторного масла входят асфальто-смолистые органические соединения, нафтенные кислоты, эфиры, спирты и соединения, содержащие металлы, которые могут быть носителями тока в межэлектродном промежутке [12]. Однако, следует отметить, что слияние двух соседних глобул в первый момент включения поля не приводит к появлению избыточного заряда на вновь образованной глобуле, поскольку она остается неподвижной в приложенном поле.

Очевидно, что избыточный заряд глобулы достигает своего максимального значения в момент контакта глобулы с одним из электродов. Величина приобретаемого ею заряда пропорциональна напряженности электрического поля и квадрату радиуса кривизны контактирующей с электродом поверхности капельки.

Как только глобула воды оторвется от электрода, заряд с нее начинает стекать благодаря проводимости окружающей ее среды. Величина постоянной времени стекания заряда τ обратно пропорциональна проводимости среды. Оценки, приведенные в литературе, дают для светлых нефтепродуктов значение $\tau \approx 2$ с, а для нефти наибольшая величина $\tau \approx 1,7 \cdot 10^{-2}$ с. Из этой оценки делается вывод о неэффективности дополнительной зарядки глобул воды для обезвоживания нефти.

В результате приобретения дополнительного заряда глобула воды начинает двигаться от электрода в противоположном направлении. Причем скорость этого движения значительно выше скорости до первичного контакта с электродом. Скорость движения такой капельки пропорциональна ее первоначальному радиусу и квадрату напряженности внешнего электрического поля. Параметры движения проводящей частицы с учетом вязкости среды, например, можно оценивать по соотношениям [3].

При движении глобулы сближаются, сталкиваются, в результате чего происходит их слияние в одну или несколько больших, которые осаждаются на дно кюветы.

Повышение напряженности электрического поля до значения $E_0 = 14 \cdot 10^4$ В/м приводит к повышению интенсивности процессов коагуляции глобул (рис. 3). Так, сразу после включения поля близлежащие глобулы сливаются, а образовавшиеся укрупненные глобулы через некоторое время начинают перемещаться в межэлектродном пространстве и уже к 16 секунде процесс практически закончивается. Однако результирующая глобула не покидает межэлектродное пространство, а вовлекается в многократное движение между электродами. Причем процесс отрыва ее от электрода сопровождается таким вытягиванием, что от нее отрывается частичка, обладающая, по-видимому, почти всем зарядом исходной глобулы, поскольку движется она к противозлектроду с большой скоростью, практически «влипая» в него. Есть случаи, когда деление зарядов происходит таким образом, что исходная глобула приобретает даже отрицательный заряд и начинает возвратное движение к положительному электроду. Большей же частью исходная глобула, продолжая движение к противозлектроду, сталкивается с движущейся навстречу ранее оторвавшейся частичкой и возвращается назад. Очевидно, что подобные явления являются энергетически затратным.

2. Импульсное электрическое поле. Дальнейшее повышение напряженности электрического поля в межэлектродном промежутке до значений

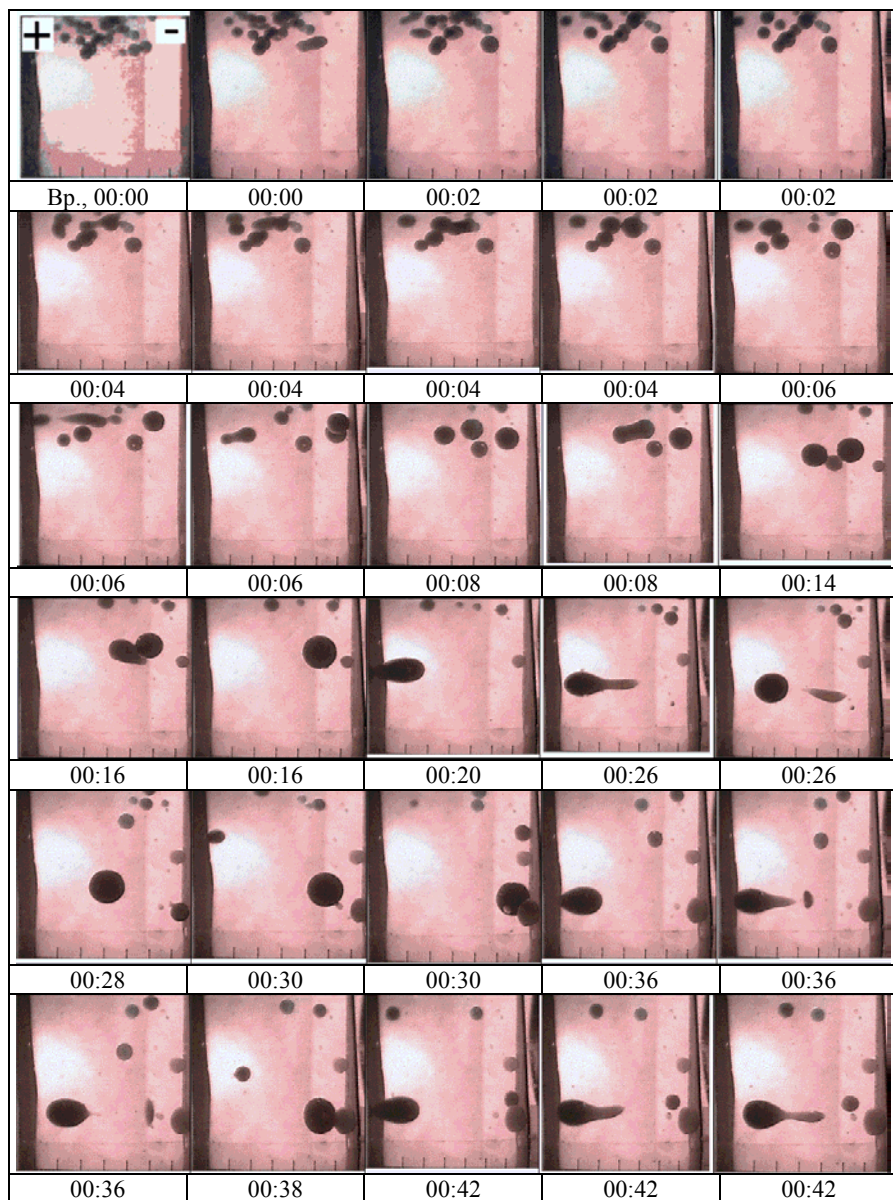


Рисунок 3 – Поведение капель в постоянном однородном электрическом поле $E_0 = 14 \cdot 10^4$ В/м. (Длительность экспозиции кадра $\sim 0,03$ с, цена деления шкалы внизу кадра – 5 мм)

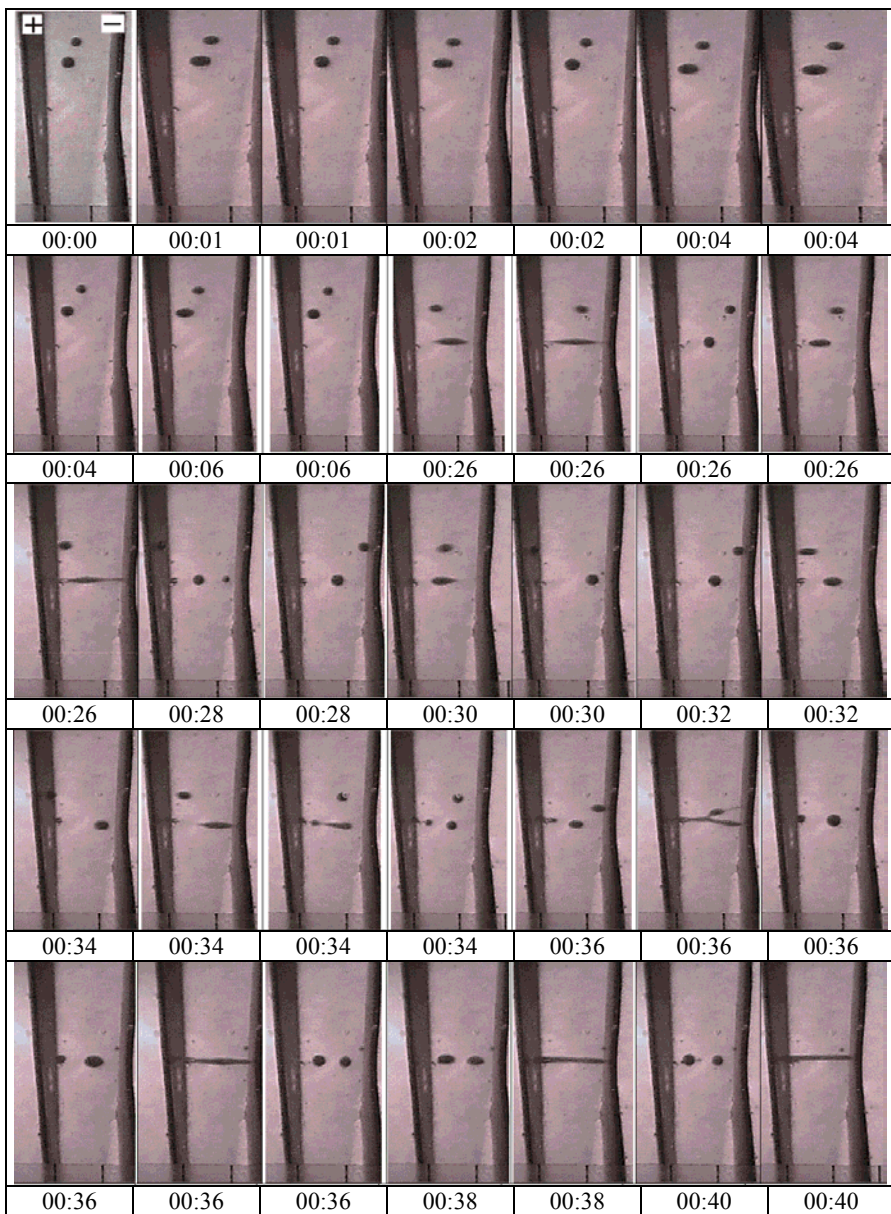


Рисунок 4 – Поведение капель в импульсном однородном электрическом поле $E_0 = 30 \cdot 10^4$ В/м. (Длительность экспозиции кадра $\sim 0,03$ с, цена деления шкалы внизу кадра – 5 мм)

$E_0=30 \cdot 10^4$ В/м в следующем опыте совмещено с переходом на импульсный режим включения поля.

Как следует из рис. 4, воздействие электрического поля указанной напряженности приводит к видимому вытягиванию глобул, еще не имеющих избыточного заряда. При этом, начиная с подачи второго импульса, глобулы начинают также импульсно смещаться к положительному, имеющему высокий потенциал, электроду, что свидетельствует о появлении на них малого избыточного заряда. По мере увеличения числа импульсов деформация глобул увеличивается так же, как и увеличивается смещение в сторону электрода.

Согласно расчетам [7], критическая напряженность внешнего электрического поля, при которой капелька разрывается, равно

$$E_{кр} = A_1 \sqrt{\frac{\sigma}{\epsilon a}}, \quad (3)$$

где A_1 – постоянная, равная для одиночной капельки 0,38, а для эмульсии обводненностью 20 % она равна 0,4;

ϵ – усредненная диэлектрическая проницаемость, Ф/м.

Из формулы (3) следует, что критическая напряженность поля повышается с увеличением межфазного поверхностного натяжения и уменьшением радиуса капельки. Это понятно, чем больше силы поверхностного натяжения и чем меньше размер капельки, тем она устойчивее и тем большая требуется напряженность поля для ее разрушения.

Очевидно, что формула (3) не учитывают влияние избыточного заряда на процесс разрушения глобулы, поскольку, в соответствии с рис. 4, при той же самой напряженности поля глобула, получившая избыточный заряд при контакте с электродом, существенно увеличила деформацию с последующим распадом на несколько глобул меньших размеров (на 28 секунде). Дальнейшее импульсное включение поля приводит к слиянию всех глобул и перемыканию межэлектродного промежутка проводящим водным мостиком. Импульсный режим позволяет в этом случае избежать перегрузки источника питания.

3. Переменное электрическое поле. Как следует из литературных источников, в переменном электрическом поле промышленной частоты поведение капельки пресной воды примерно такое же, как и в постоянном. Капелька также поляризуется, вытягиваясь вдоль силовых линий поля, и тоже диспергируется на более мелкие при напряженности поля, выше критической. Различие состоит только в том, что при постоянном поле капелька приобретает фиксированную форму эллипсоида вращения определенного эксцентриситета, при переменном поле этот эксцентриситет, а также направление поляризации капельки, периодически изменяются в соответствии с изменениями напряженности поля. Таким образом, капелька, находясь в переменном электрическом поле промышленной частоты, все время «дрожит»: попеременно, то вытягиваясь в эллипсоид вращения, то приобретая почти

шарообразную форму [5]. Все сказанное выше о поведении капельки пресной воды во внешнем электрическом поле справедливо также и для проводящей капельки соленой воды. Разница состоит лишь в том, что из-за наличия дополнительных свободных зарядов в соленой воде проводящая капелька сильнее вытягивается и диспергируется при меньших критических напряженностях поля, чем капелька пресной воды. По этой же причине в переменном электрическом поле капелька соленой воды «дрожит» интенсивнее, чем такая же по размерам капелька пресной воды [13].

Приложение к межэлектродному промежутку переменного электрического поля промышленной частоты напряженностью $E_0=10^5$ В/м в нашем опыте существенно увеличивает скорость коагуляции глобул (рис. 5) по сравнению с постоянным полем. По-видимому, «дрожание» глобул способствует сближению кончиков близлежащих глобул, что неизбежно ведет к повышению вероятности их слияния по ранее описанному механизму. Из рисунка видны слияния трех и четырех глобул одновременно.

В отличие от литературных данных, наблюдается слабое направленное движение глобул к электроду с высоким потенциалом (противоположный заземлен). При касании электрода глобула не покидает его, а совершает мелкие скачкообразные перемещения. При этом с кончика ее, обращенного к противоположному электроду, вырываются «факелы», которые достают до близлежащих глобул, приводя к коагуляции последних. Так, уже на 8 секунде процесса подобным механизмом инициируется цепная коагуляция в межэлектродном промежутке, приводящая к перемыканию промежутка проводящим мостиком. Энергия источника выделяется на сопротивлении мостика, он нагревается, уменьшается его плотность, он всплывает и распадется на отдельные части.

На кадрах с 26 секунды процесса наглядно демонстрируется процесс переноса тока через промежутки, который состоит из следующих этапов. Глобула на электроде, совершая скачкообразные перемещения, выбрасывает в сторону ближайшей глобулы «факел», осуществляя тем самым электрический контакт. После этого контакта, глобула приобретает избыточный заряд, и начинает двигаться к заземленному электроду подобно тому, как это происходит при постоянном электрическом поле.

4. Качественное описание поведения коллектива глобул. При описании поведения коллектива глобул воды в нефти при воздействии однородного постоянного и переменного электрического поля нужно учитывать, что в выбранной модельной среде электрические характеристики процесса имеют лишь качественное соответствие реальным процессам в ВНЭ. Так, например, в данных опытах не удалось измерить изменения тока от перемещений глобул ввиду их малости на фоне темнового тока через промежуток, который составлял всего от 10 до 50 мкА.

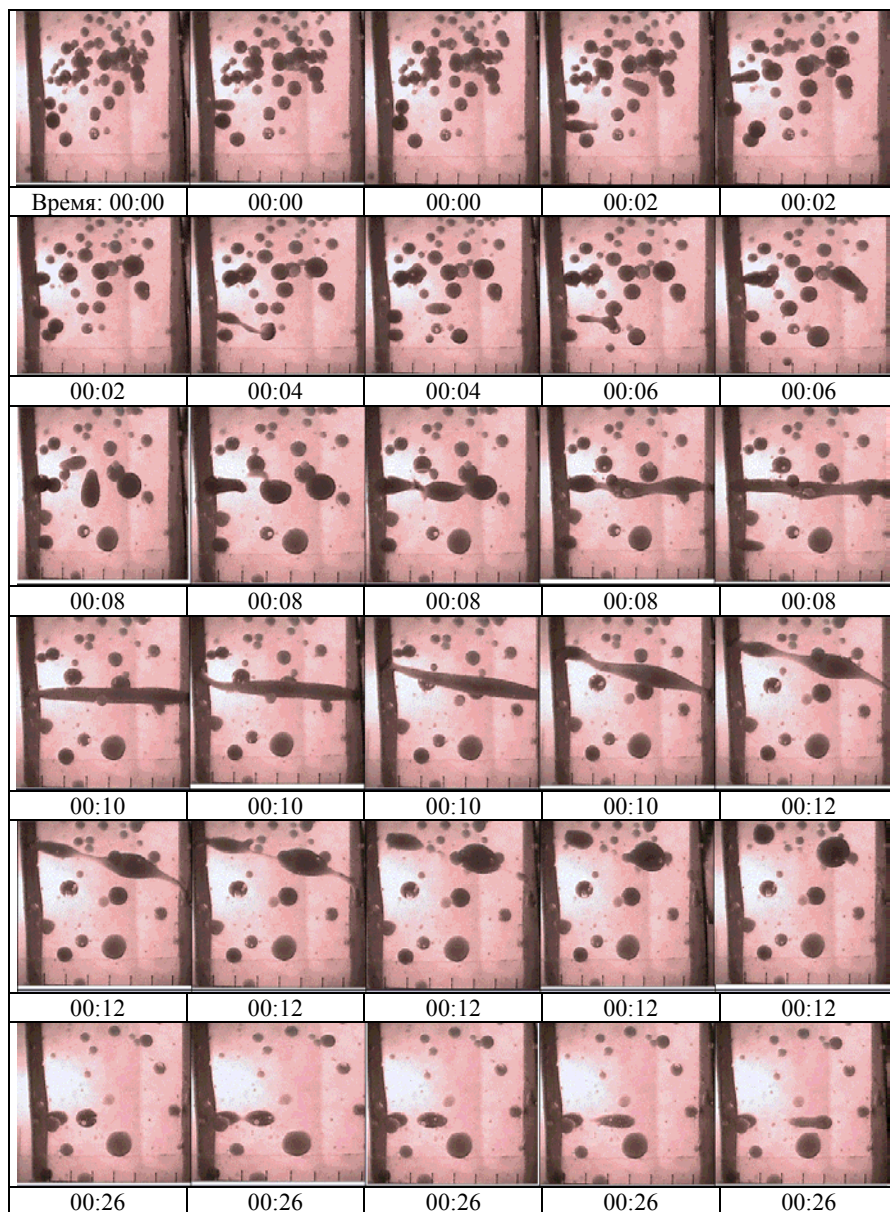


Рисунок 5 – Поведение капель в однородном переменном электрическом поле $E_0 = 10^5$ В/м. (Длительность экспозиции кадра $\sim 0,03$ с, цена деления шкалы внизу кадра – 5 мм)

Качественный анализ поведения тока в таком межэлектродном промежутке проследим по характеру изменению удельной электропроводности среды, поскольку направленное движение заряженных частиц независимо от вида, в нашем случае, например, глобул, приводит к переносу зарядов, то есть протеканию электрического тока.

Удельную электропроводность среды, определяемую перемещением этих зарядов, запишем в соответствии с выражением [13] как:

$$\sigma_0 = F Z_+ n_{0+} (u_+ + u_-) / N_A, \quad (4)$$

где F – число Фарадея, Кл/моль ($F = 96485,3$ Кл/моль);

Z_+ – заряд положительно заряженных частиц в среде, Кл;

n_{0+} – концентрация положительно заряженных частиц в среде, $1/\text{м}^3$; (для простоты рассмотрения пусть $Z_+ n_{0+} = Z_- n_{0-}$);

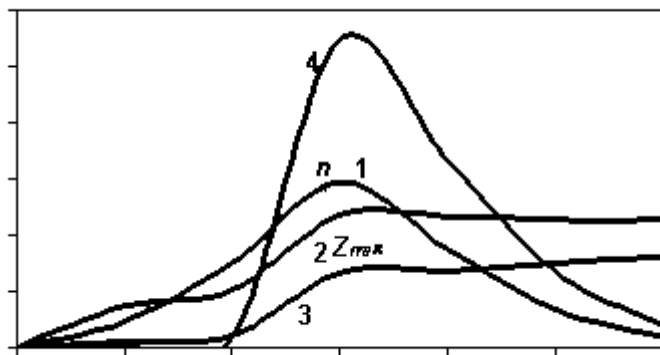
u_+ , u_- – подвижность положительных и отрицательных заряженных частиц, соответственно, м/с;

N_A – постоянная Авогадро, $1/\text{моль}$ ($N_A = 6,02212 \cdot 10^{23}$ $1/\text{моль}$).

Очевидно, что изменение во времени удельной электропроводности среды будет иметь сложный характер, определяемый изменением во времени каждого из членов выражения (4).

Так, например, принимая, исходя из наблюдений, что в нулевой момент времени в межэлектродном промежутке имеются только незаряженные глобулы, получаем, что концентрация заряженных глобул n_{0+} (кривая 1) равна нулю и заряд глобул (кривая 2) тоже равен нулю (рис. 6).

n, Z, U, σ_0



время

Рисунок 6 – Качественные зависимости некоторых характеристик коллектива глобул, помещенных в электрическое поле, от времени:

1 – концентрация заряженных частиц; 2 – заряд частиц;

3 – подвижность частиц; 4 – удельная электропроводность эмульсии

Концентрация глобул, которые впоследствии будут заряжены, может быть существенно меньше исходной концентрации, поскольку в первый момент включения поля произойдет первый этап слияний близлежащих глобул под действием поляризации. Как мы помним, этот процесс не приводит к появлению заряда на образовавшихся глобулах. Постепенно глобулы накапливают заряд (кривая 2), начинают перемещаться под действием поля, т.е. возрастает их подвижность (кривая 3), а концентрация заряженных частиц (кривая 1) стремится к некоторому максимальному значению. В определенное время глобулы, достигая электродов, преобретают максимальный заряд Z_{max} и подвижность их (кривая 3) в этот момент становится максимальной. Именно с этого времени начинается интенсивное слияние глобул в процессе столкновений и осаждение укрупненных глобул, т.е. уменьшения концентрации их вплоть до нуля.

Результирующая зависимость удельной электропроводности среды σ (кривая 4), представляющая собой произведение рассмотренных параметров, имеет куполообразную форму.

Можно считать, что изменение во времени концентрации заряженных глобул фактически определяет поведение удельной электропроводности среды и электрического тока через межэлектродный промежуток, форма значений которого во времени тоже будет иметь куполообразный вид.

Основываясь на качественных наблюдениях представим предполагаемые механизмы появления избыточного заряда на глобулах воды, поскольку этот процесс лежит в основе вообще всякого изменения состояния эмульсии и имеет принципиальное значение для понимания, прогнозирования и управления процессами обезвоживания эмульсий. По сути явления, возникновение избыточного заряда на глобуле приводит к возбуждению активности глобул при взаимодействии с полем, поэтому будем употреблять термин «активация» для описания этого процесса.

Первым механизмом активации эмульсии можно считать зарядку глобул за счет протекания «темнового» тока в межэлектродном промежутке.

При таком подходе каждую из множества глобул можно уподобить маленькому конденсатору, а плотность их зарядов Q будет пропорциональна произведению плотности тока зарядки j и времени зарядки t

$$Q = j \cdot t = \sigma_m \cdot E_0 \cdot t, \quad (5)$$

где Q – плотность зарядов, Кл/м²;

j – плотность тока, А/м²;

σ_m – удельная электропроводность трансформаторного масла, Ом⁻¹ · м⁻¹.

Из выражения (5) следует, что при неизменности проводимости дисперсной среды σ_m изменением напряженности электрического поля E_0 и временем его воздействия t можно управлять активацией дисперсной среды. Другими словами, одинакового уровня активации среды можно добиваться при выполнении условия $E_0 \cdot t = \text{const}$.

Вторым вероятным механизмом активации можно считать потерю глобулами зарядов определенного сорта через механизм инжектирования их из жидкости в масло, что может происходить под воздействием высокой напряженности электрического поля на кончиках поляризованной глобулы.

Третьим возможным механизмом активации эмульсии можно считать разделение зарядов при разрыве глобулы на отдельные частицы под воздействием внешнего электрического поля. При этом образующиеся частицы имеют противоположные по знаку заряды, а величина их может быть значительной.

Особенность данного механизма состоит в том, что при некотором конкретном значении напряженности внешнего поля разрыву подвергается не каждая глобула, а только та, которая достигла соответствующего размера (см. формулу 3). Процесс укрупнения глобул идет сразу после включения поля (как это видно из кинограмм), поэтому приложенное поле сразу начинает смещать дисперсионный состав эмульсии в сторону повышения вероятности возникновения разрывов глобул и разделению зарядов.

Необходимо отметить, что все перечисленные механизмы могут работать как по очереди, так и одновременно в зависимости от амплитуды приложенного напряжения, длительности приложения (длительности импульса), рода приложенного напряжения, а также дисперсионного состава эмульсии в каждый конкретный момент времени.

5. Исследования токовых зависимостей натуральных ВНЭ. На втором этапе работы воздействию переменного и постоянного электрического поля подвергались натуральные высокообводненные ВНЭ. Результаты измерения электрического тока через межэлектродный промежуток приведены на рис. 6.

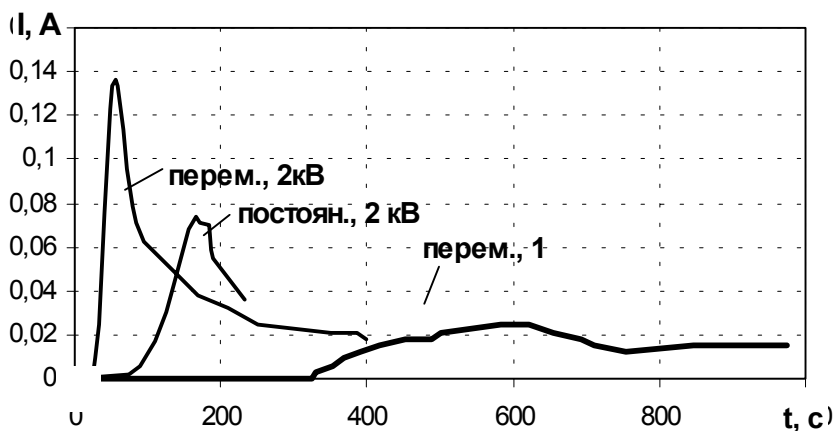


Рисунок 7 – Зависимости изменения тока в ВНЭ от времени

Как следует из рис. 7 зависимости изменения электрического тока от времени для натуральных ВНЭ имеет куполообразную форму при приложении как переменного, так и постоянного напряжения в соответствии с предложенной качественной моделью. Кроме того, видно, что начало интенсивного роста тока через промежуток запаздывает от момента приложения напряжения, что также соответствует качественной модели.

Выводы. В результате проведенных исследований поведения глобул воды в трансформаторном масле предложена, и на натуральных ВНЭ апробирована, качественная модель изменения удельной электропроводности высокообводненных эмульсий. Показано, что электрический ток через межэлектродный промежуток, заполненный ВНЭ, имеет во времени куполообразную форму и определяется концентрацией заряженных глобул.

Проведенные исследования могут быть полезны при направленном воздействии на ВНЭ с целью управления процессами коагуляции водной фазы, а также для анализа процессов формирования высоковольтного разряда в эмульсиях, являющихся рабочими средами в электроразрядных установках и технологиях.

Список литературы: 1. Клейтон В. Эмульсии / Пер. с англ. Н.А. Плетеневой, К.А. Попеловой; Под ред. акад. П.А. Ребиндера. – М.: Изд-во иностр. лит., 1960. – 680 с. 2. Болога М.К., Берилл И.И. Рафинация подсолнечного масла в электрическом поле. – Кишинэу: Stiinta, 2004. – 216 с. 3. Коробко А.И., Золотко В.А., Галенюк Г.У. и др. Определение оптимального температурного режима эксплуатации установок электростатической очистки трансформаторного масла // Вісник Національного технічного університету «ХП». Збірник наукових праць. – Тем. вип. «Техніка і електрофізика високих напруг». Харків: НТУ «ХП». – 2006. – № 17. – С. 176-180. 4. Левченко Д.Н., Берита Н.В., Худякова А.Д., Николаева Н.М. Эмульсии нефти с водой и методы их разрушения. – М.: Химия, 1967. – 200 с. 5. Левченко Д.Н., Бернштейн Н.В., Николаева Н.М. Технология обессоливания нефтей на нефтеперерабатывающих предприятиях. – М.: Химия, 1985. – 168 с. 6. Мартыненко А.Г., Коноплев В.П., Ширяев Г.П. Очистка нефтепродуктов в электрическом поле. – М.: Химия, 1974. – 312 с. 7. Панченков Г.М., Цабек Л.К. Поведение эмульсий во внешнем электрическом поле. – М.: Химия, 1969. – 242 с. 8. Кочанов Э.С., Кочанов Ю.С., Скачков А.Е. Электрические методы очистки и контроля судовых топлив. – Л.: Судостроение, 1990. – 216 с. 9. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.. Электродинамика сплошных сред. – М.: Гостехтеоретиздат, 1957. – 532 с. 10. Waterman Z.C. Hydrocarbon Proc. Petrol // Ref. 1965. – V. 44, № 2. – P. 133-139. 11. Панченков Г.М., Папко В.В., Цабек Л.К. Изучение влияния частоты внешнего электрического поля на коалесценцию водяных капель в эмульсии типа "вода в масле" // Химия и технология топлив и масел. – 1969. – № 11. – С. 35-40. 12. Липштейн Р.А., Шахнович М.И. Трансформаторное масло / 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 296 с. 13. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике / 5-е изд. – М.: Наука, 1971. – 939 с.

Поступила в редколлегию 27.06.2007